

LA TECHNIQUE DES FLUIDES

La lettre d'information du Centre d'Etudes et de Recherches de Grenoble de GECALSTHOMACB Mars 1997 - n° 10

EDITORIAL

Ne rêvons pas ! La vie serait trop facile s'il suffisait d'analyser un marché et de proposer une idée quelque peu novatrice pour se créer un avantage concurrentiel et développer ainsi une activité florissante.

En fait, il faut se battre contre l'environnement et unir pour cela toutes les forces disponibles de l'Entreprise pour faire aboutir un produit ou un service répondant aux attentes du Client dans des conditions économiques qui le satisferont.

Le CERG intervient dans ce processus en réalisant des études sous contrat pour des entreprises extérieures, apportant ses compétences et ses moyens à la valorisation de procédés ou de produits.

Mais le CERG s'investit également dans les développements menés par GECALSTHOM, plus particulièrement au sein du Groupe Fluides et Mécanique (FMG) de la Division des Equipements Industriels (DEI). Il participe activement, comme membre de la Commission Hydromécanique du FMG, à l'élaboration d'idées prospectives et à la réalisation des programmes de R et D des entités du groupe, dans le cadre de la politique à moyen terme orientée vers le domaine de l'eau.

Ainsi, le CERG peut valoriser dans différentes voies son patrimoine scientifique et technique pour innover.

M. VISCONTI

Sommaire :

- Editorial	p 1
- Qualité	p 1
- Commission Hydromécanique du F.M.G.	p 1
- La prédiction de l'érosion par cavitation dans les turbomachines et les composants hydrauliques	p 2
- Dates des sessions de formation en hydraulique	p 4
- A propos de ...	p 4
- Etudes expérimentales en tunnel hydrodynamique des écoulements sous caisse de matériels ferroviaires	p 5
- En bref ...	p 6

Qualité

Le premier audit de suivi de notre certification ISO 9001 a été réalisé par le BVQI, organisme certificateur, au début du mois d'octobre 1996. Aucune anomalie n'a été constatée à cette occasion et nous sortons ainsi confortés dans notre démarche d'Assurance Qualité.

Commission Hydromécanique du F.M.G.

Le 17 décembre 1996 s'est tenue à Grenoble la première réunion de la Commission Hydromécanique du F.M.G. (Fluids and Mechanical Group) de GECALSTHOM - Division des Equipements Industriels (DEI). Celle-ci a rassemblé des responsables des différentes entités travaillant dans le domaine des fluides : ACB Nantes, Val de Fontenay (Bergeron) et Grenoble (CERG), SAPAG et VELAN.

Cette réunion a été l'occasion d'échanges fructueux sur les programmes R & D et sur les axes de progrès prioritaires de ces entités auxquelles le CERG va apporter son concours pour l'amélioration de l'activité et de la compétitivité du F.M.G. dans le domaine de l'eau.


G E C A L S T H O M

ACB



LA PREDICTION DE L'EROSION PAR CAVITATION DANS LES TURBOMACHINES ET LES COMPOSANTS HYDRAULIQUES

Une recherche pilotée par le CERG dans le cadre du programme européen BRITE EURAM

Présentation

Cet article fait suite à la première partie traitant du sujet parue dans le numéro 9 d'octobre 1996 de la **TECHNIQUE DES FLUIDES**. Il présente les principaux résultats acquis à l'issue du programme de recherche mené sur 4 ans (1992-96) par un groupement de partenaires européens dont le CERG a assuré la coordination.

Ce programme a reçu le soutien financier de la Communauté Européenne dans le cadre BRITE-EURAM.

Rappel des objectifs

Le besoin industriel de mieux connaître la durée de vie des machines ou des composants hydrauliques exposés à un écoulement cavitant nécessite de pouvoir détecter et estimer le degré quantitatif d'endommagement à long terme des parois à partir de mesures simples et rapides du potentiel érosif de l'écoulement, qualifié par l'agressivité ou intensité de la cavitation (HCI : Hydraulic Cavitation Intensity).

L'objectif principal du programme était donc de définir et valider une méthodologie de prédiction quantitative de l'érosion par cavitation qui puisse s'insérer dans le schéma de développement ou l'analyse de fonctionnement d'une machine.

Un deuxième objectif visait à définir et qualifier des méthodes de détection rapide et non intrusive des régimes de fonctionnement potentiellement dangereux du point de vue de l'érosion par cavitation.

Caractérisation de l'agressivité

Dans le mécanisme d'endommagement des parois exposées à la cavitation, il importe de distinguer, d'une part, la sollicitation hydrodynamique liée aux collapses des structures cavitantes et, d'autre part, le

comportement mécanique du matériau soumis à cette sollicitation.

L'agressivité est directement liée à la sollicitation hydrodynamique résultant d'une succession spatio-temporelle aléatoire de pulses de pression générés par le collapse des structures cavitantes au voisinage des parois.

La mesure directe des paramètres caractéristiques (pression pouvant atteindre plusieurs centaines de mégapascals sur des surfaces de quelques micromètres carrés pendant des durées de l'ordre de la microseconde) étant pratiquement impossible, il a été retenu de caractériser l'agressivité par les micro-déformations plastiques produites en première phase d'érosion sur le matériau ainsi utilisé directement comme capteur.

Le relevé de ces indentations par profilomètre optique relié à un système de traitement d'images permet une analyse statistique conduisant à la mesure de trois grandeurs scalaires :

- VST = volume total des indentations par unités de surface et de temps

- R_m et H_m = rayon moyen et profondeur moyenne des indentations, pondérés par leur volume.

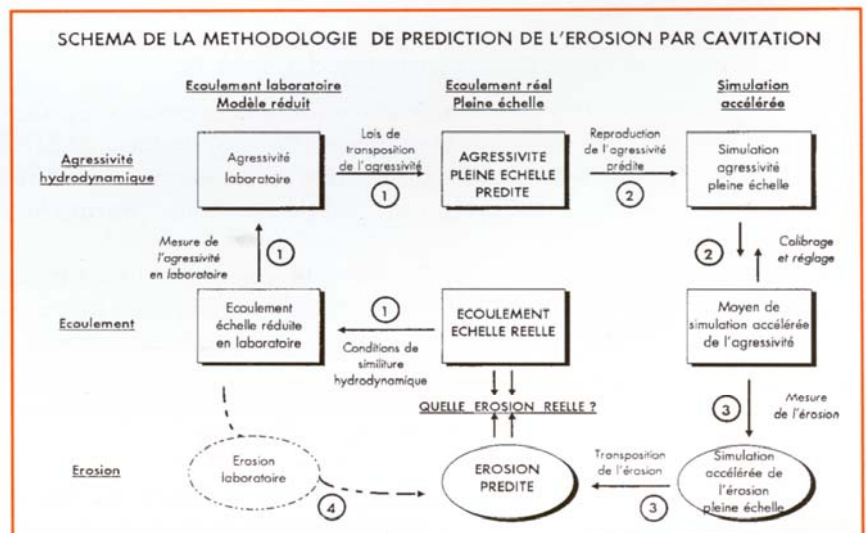
La recherche de lois de similitude de l'agressivité a conduit à définir un paramètre adimensionnel complémentaire (appelé paramètre d'agressivité) prenant en compte une vitesse de référence de l'écoulement, les impédances acoustiques liquide/matériau et la limite élastique du matériau. On a montré alors que les grandeurs caractéristiques de l'agressivité définies ci-dessus et adimensionnalisées ne dépendaient que du paramètre d'agressivité.

Ces résultats donnent ainsi la possibilité de transposer les mesures d'agressivité d'un écoulement donné sur modèle réduit, sous réserve de respecter la similitude hydrodynamique et de conserver la valeur du paramètre d'agressivité.

Caractérisation de l'érosion

L'érosion se développe au cours du temps lorsque le matériau reste soumis à un écoulement cavitant agressif et elle se caractérise par l'évolution spatiale et temporelle de la profondeur d'endommagement.

Des essais avec différents matériaux et différentes conditions d'écoulement ont permis d'établir qu'il existait une corrélation entre l'agressivité et l'érosion pour un matériau donné.



Méthodologie de prédiction de l'érosion

Les résultats ci-dessus permettent de définir une procédure de prédiction quantitative de l'érosion dont le schéma est donné sur la figure de la page 2 et qui consiste à :

- déterminer l'agressivité de l'écoulement cavitant (étape 1)

- reproduire de façon accélérée cette agressivité pour obtenir une mesure de l'érosion accélérée (étape 2)

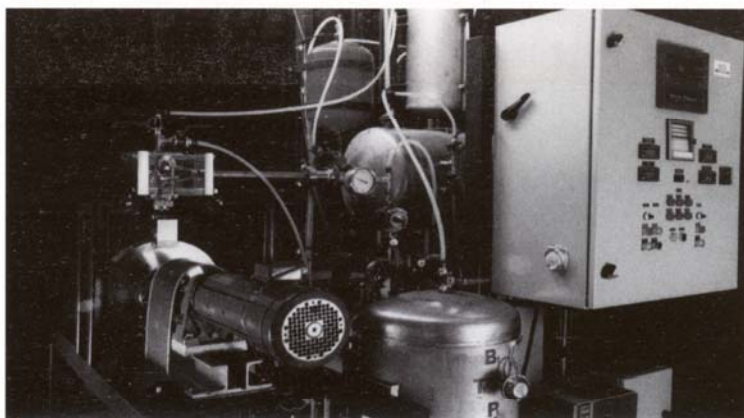
- transposer cette mesure de l'érosion accélérée aux conditions réelles de fonctionnement (étape 3) pour prédire l'endommagement de la machine industrielle.

La détermination de l'agressivité se fait, dans le cas d'une application définie, soit sur la machine industrielle, soit, si cela n'est pas possible (machine en projet ou non accessible), sur modèle réduit, en appliquant les lois de similitude mentionnées plus haut.

Pour assurer une reproduction cadencée de l'agressivité et une érosion accélérée des matériaux, le CERG a développé un moyen spécifique, le CAVERSIM (CAVitation EROsion SIMulator), conçu pour produire à haute cadence des vortex cavitants dont les collapses sont spatialement concentrés sur un échantillon du matériau étudié. Il permet, à tailles d'indentation égales, un taux d'accélération de l'ordre de 100 à 1000.

Des essais réalisés avec ce moyen montrent également son aptitude à éroder rapidement toutes sortes de matériaux, dont des alliages de très haute résistance.

Il permet ainsi de réaliser des essais systématiques pour disposer d'une banque de données. La transposition des mesures obtenues sur le CAVERSIM aux conditions de la machine industrielle (caractérisée par l'agressivité de l'écoulement et le matériau) permet alors d'obtenir une évaluation prédictive de l'endommagement dans le temps.



Vue générale du CAVERSIM

Validation de la méthodologie

Différentes séries de validation expérimentale ont été menées par les partenaires dans le cadre du programme BRITE-EURAM :

- essais systématiques en laboratoire dans des veines venturi axisymétriques de dimensions différentes (facteur d'échelle 1 : 3) et sur des profils NACA (facteur d'échelle 1 : 1,7)

- corrélation entre les résultats d'essais sur des machines industrielles et leurs modèles réduits : pompe hélico-centrifuge de 300 kW et son modèle à l'échelle 1 : 2, turbine FRANCIS de 33 MW et son modèle à l'échelle 1 : 5,2, turbine PELTON de 3,5 MW et son modèle à l'échelle 1 : 3,5, hélice de navire de $\varnothing 2,8$ m et ses deux modèles réduits à l'échelle 1 : 8,5 et 1 : 14.

Les visualisations d'écoulement et les mesures d'agressivité et d'érosion ont été réalisées pour différentes conditions d'écoulement et de fonctionnement et ont permis d'analyser et de vérifier l'influence de l'échelle, de la vitesse d'écoulement et du matériau.

Ces essais ont permis de montrer la pertinence de la définition de l'agressivité retenue et sa corrélation avec l'endommagement quantitatif observé, en accord avec les lois de transposition proposées.

Méthode de détection rapide de l'agressivité

En complément du programme décrit ci-dessus, des mesures ont été

faites sur machines industrielles et sur modèles, avec différents types de capteurs (accéléromètres, capteurs de pression fluctuante, hydrophones) et de traitements du signal (analyses RMS et fréquentielle, histogrammes des pics de pression,...), pour détecter et quantifier l'agressivité de la cavitation. Les capteurs acoustiques placés au plus près de la zone cavitante apparaissent comme les mieux adaptés.

Même si ces techniques de mesure ne sont pas encore capables de caractériser directement le risque d'endommagement, elles sont utiles pour la surveillance et la maintenance des machines.

En effet, des corrélations intéressantes ont été observées entre les mesures des pics de pression et celles des indentations sur le matériau dues à la cavitation.

Conclusion

Ce programme de recherche a permis de faire un pas important pour la prévision de l'érosion par cavitation et la caractérisation de l'agressivité des écoulements cavitants. Il a également permis de développer des techniques de mesures et d'essais adaptés.

Les résultats donnent une base à la communauté scientifique pour poursuivre les recherches et développements au service des constructeurs et des utilisateurs de machines et de composants hydrauliques.

M. VISCONTI

STAGES DE FORMATION EN HYDRAULIQUE : dates des sessions 1997

Nous vous rappelons ci-dessous les dates des sessions de nos stages en hydraulique. Il reste quelques places disponibles. Vous avez donc toujours la possibilité de vous inscrire.

Stage H1 : Initiation aux écoulements en charge

du 3 au 7 mars, du 2 au 6 juin, du 22 au 26 septembre et du 1 au 5 décembre 1997

Stage H2 : Initiation aux écoulements à surface libre

du 17 au 21 novembre 1997

Stage H3 : Pompes, coups de bélier, régulation

du 17 au 21 mars et du 13 au 17 octobre 1997

Stage H4 : Pompes

les 17 et 18 mars et les 13 et 14 octobre 1997

Stage H5 : Coups de bélier

les 19 et 20 mars et les 15 et 16 octobre 1997

A PROPOS DE ...

Les simulations numériques

Le CERG dispose depuis l'automne 1996 d'une nouvelle version (V7.6) du logiciel de dynamique des fluides FIDAP de Fluid Dynamics International.

FIDAP simule par méthodes d'éléments finis tous les écoulements laminaires ou turbulents, en géométries 2D ou 3D, avec possibilité de couplage des phénomènes thermiques (conduction, convection forcée, mixte ou libre, rayonnement) et des transports de plusieurs constituants (mélange de plusieurs fluides liquides ou gazeux, transport de polluants...).

La nouvelle version apporte en particulier des améliorations importantes sur la rapidité de convergence des calculs et la possibilité de représenter des parois solides mobiles à l'intérieur d'un maillage géométrique fixe.

Les conditions frontières imposées sur les noeuds du maillage peuvent être variables dans le temps et dans l'espace et rendent donc possibles, par exemple, la modélisation dans le temps de l'influence des pales

d'agitateur tournant dans un bac bafflé ou bien le passage d'une aube de rotor devant une aube fixe d'une turbomachine.

Enfin, vers le milieu de 1997, nous disposerons d'un nouveau mailleur 3D facilitant la fabrication des géométries 3D (petite CAO adaptée

au logiciel) et des maillages 3D complexes (mailleur 3D non structuré). Toutes ces améliorations doivent permettre, d'une part, d'étudier des problèmes qui étaient jusqu'alors en limite de nos possibilités et, d'autre part, de diminuer les durées de fabrication des modèles de simulation et finalement les coûts d'études.

Si un article a retenu votre attention, ou si vous souhaitez en savoir plus sur nos activités, contactez Christine MARTI :

par courrier à :
GEC ALSTHOM ACB - CERG
Christine MARTI
Rue Lavoisier
38800 LE PONT DE CLAIX



par téléphone au :
(33) 04.76.40.90.40



par fax au :
(33) 04.76.98.08.81
à l'attention de C. MARTI

ETUDES EXPERIMENTALES EN TUNNEL HYDRODYNAMIQUE DES ECOULEMENTS SOUS CAISSE DE MATERIELS FERROVIAIRES

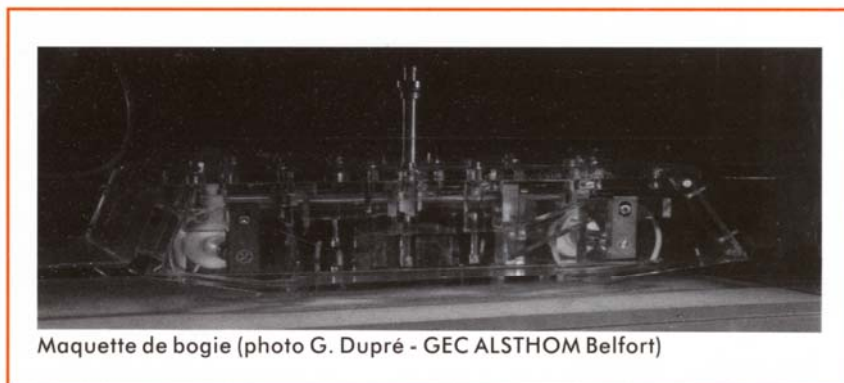
Etudes des TGV

L'augmentation des vitesses commerciales des TGV nécessite de plus en plus d'études approfondies sur les écoulements d'air engendrés par le déplacement des rames. Ces écoulements sont sources de bruits, gênants aussi bien pour les passagers que pour les riverains. Ils sont générateurs de traînées aérodynamiques consommatrices d'énergie. Ils peuvent également nuire au bon fonctionnement d'appendices, tels que les essuie-glaces ou les pantographes et ont une influence sur le refroidissement des freins ou des équipements sous bogie ou sous caisse.

Bien que les simulations numériques de ces écoulements soient en plein essor et que les tentatives de mesures sur des trains réels se multiplient, le recours à des simulations sur modèles réduits reste indispensable. Des maquettes, reproduisant la géométrie de la partie du train que l'on souhaite étudier, sont disposées indifféremment dans des veines d'essais de soufflerie ou bien de tunnel hydrodynamique. En effet, lorsque les effets de compressibilité de l'air sont négligeables, ce qui est le cas des écoulements subsoniques comme ceux générés par les trains, la nature du fluide n'intervient pas et les simulations en eau sont aussi bien représentatives que celles en air : la similitude est alors seulement assurée par le respect du nombre de Reynolds qui gère les effets dus à la viscosité des fluides.

Les bienfaits de l'eau

Les propriétés visqueuses de l'air et de l'eau imposent que, pour obtenir



Maquette de bogie (photo G. Dupré - GEC ALSTHOM Belfort)

des écoulements semblables, le produit de la taille de la maquette par la vitesse de l'écoulement soit 14 fois plus grand en air qu'en eau. C'est pourquoi, en eau, les maquettes sont souvent plus petites et donc plus facilement manipulables et moins coûteuses à réaliser. De plus, la stabilité et la tenue des tapis roulants, destinés à simuler le défilement du sol sous le train, sont parfaitement maîtrisables en tunnel hydrodynamique (quelques m/s de vitesse en eau contre quelques dizaines de m/s en air). Les techniques de visualisation des écoulements offrent des possibilités importantes en eau en raison de la diversité des traceurs disponibles tels que colorants de toute nature, particules solides ou même microbulles de gaz. L'observation des aspects instationnaires est également facilitée par les plus faibles niveaux de vitesse. Par ailleurs, les lois de similitude indiquent que pour un même nombre de Reynolds, les efforts dynamiques sont quatre fois plus importants en eau qu'en air, ce qui, rapporté à des poids de maquette plus faibles, contribue à une précision accrue dans la mesure des efforts de traînée.

Quelques résultats

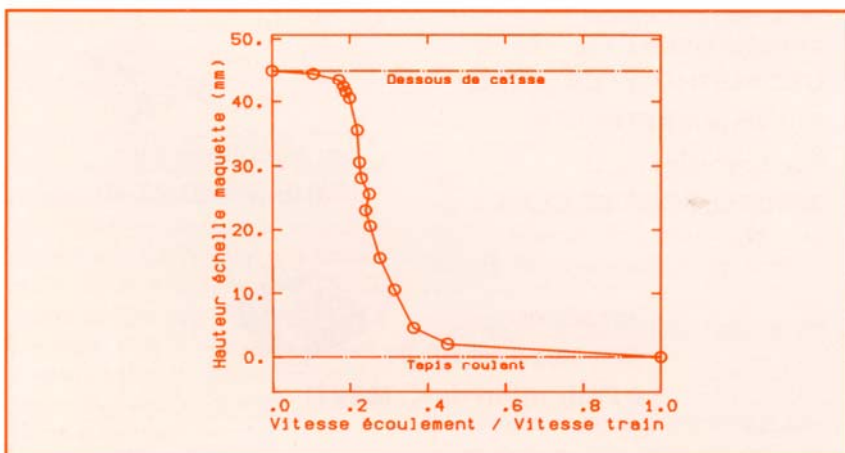
Une des difficultés des simulations sur modèles réduits réside, entre autres, dans la reproduction des perturbations normalement créées par la partie du train, en amont du tronçon étudié, qui n'a pas été reproduite. Par exemple, l'étude des écoulements autour des bogies ou, d'une manière plus générale, sous la caisse des voitures situées en milieu ou en fin de rame, requiert une grande prudence dans la manière d'alimenter la maquette.

Dans ce domaine, le CERG a toujours été très attentif à ce problème et a eu l'occasion d'expérimenter plusieurs dispositifs associés à l'utilisation d'un tapis roulant, dont la qualification à l'aide de mesures vélocimétriques LDA a donné satisfaction. Par exemple, le profil de vitesse du graphique ci-contre illustre le cas de la répartition spécifique de vitesse obtenue sous une caisse avec un déficit de l'ordre de 20 % de la vitesse d'avance du train.

D'autres applications

Par son expérience et la diversité de ses moyens d'essais, le CERG maîtrise parfaitement la technique de simulation en eau applicable à l'étude des écoulements sur le matériel ferroviaire. Les problèmes aérodynamiques rencontrés dans le domaine automobile ou du transport routier peuvent également profiter de cette technique. Différentes actions menées dans ce sens au CERG sont en train de voir le jour.

S. LAVIGNE



Exemple de profil de vitesse sous caisse

EN BREF ... EN BREF ... EN BREF ...

ETUDE DE REFROIDISSEMENT DES RAILS EN SORTIE DE LAMINOIRS

La société SOGERAIL a confié au CERG une étude de refroidissement des rails en sortie de laminoirs. Les puissances thermiques à évacuer y sont très importantes. L'étude numérique réalisée par le CERG a permis de déterminer le fonctionnement en convection naturelle de l'installation projetée, d'optimiser différents paramètres et d'analyser les possibilités de convection forcée totale ou partielle par ventilateurs.

ETUDE DE PRISE D'EAU DE LA STATION DE POMPAGE DE LAVRION

Le CERG vient de terminer l'étude du bassin de pompage de Lavrion en Grèce. L'étude réalisée sur maquette à l'échelle 1/10ème a permis de mettre en évidence les défauts du projet initial, de localiser les vortex de surface et de fond, de

quantifier les prérotations d'écoulements nuisibles en entrée de pompes.

Elle a permis de préconiser les aménagements nécessaires pour pallier les défauts constatés et de vérifier leur efficacité.

LES CHANTIERS DE L'ATLANTIQUE CONFIENT AU CERG L'ETUDE AERODYNAMIQUE SUR MAQUETTE DU BATEAU DE CROISIERE "RENAISSANCE"

Chaque architecture de navire étant spécifique, il est nécessaire, lors de la réalisation d'un bâtiment nouveau, d'opérer certaines vérifications. Parmi celles-ci, on citera le comportement des panaches sous l'influence de la vitesse et des vents, ainsi que les efforts aérodynamiques induits sur les structures aériennes du navire.

Les essais sont réalisés sur maquette en analogie hydraulique

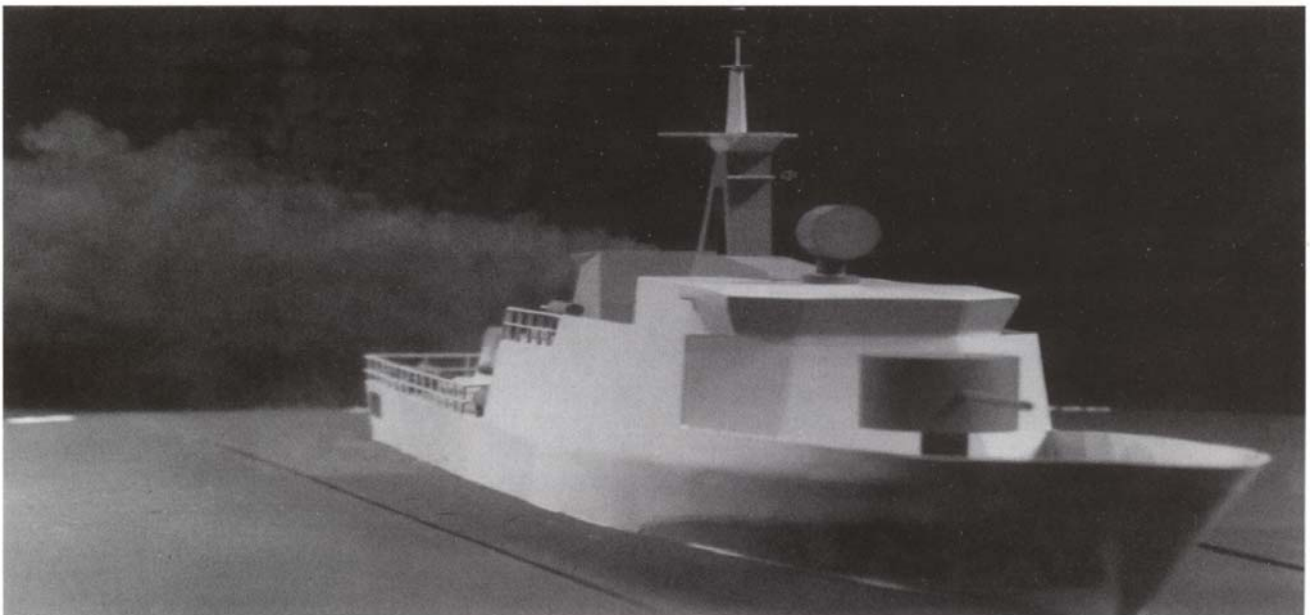
à l'échelle 1/100ème avec visualisation des risques de rabattement des panaches (diesels, chaudières, cuisines), au moyen d'émissions de différentes couleurs simulant les gaz polluants et mesures d'efforts par balance dynamométrique donnant accès aux coefficients aérodynamiques.

MAQUETTE D'UN PROCÉDE DE DESULFURATION DES FUMÉES

Le CERG a réalisé l'étude du procédé de désulfuration par injection de chaux des fumées émises par la chaudière de 600 MW à charbon pulvérisé de la centrale thermique de Provence à Gardanne.

La recherche et l'étude paramétrique d'influence des différents facteurs caractérisant le procédé, en particulier le positionnement des injecteurs, ont permis d'atteindre l'objectif visé et d'améliorer le rendement de la désulfuration.

(source : Revue trimestrielle des "Techniques de l'Ingénieur" - déc 96)



Modélisation expérimentale du rabattement des panaches d'échappement de navire (suppression des recyclages)